

从世界展望中国喀斯特研究

玛·斯维婷

包浩生

(牛津大学, 英国)

(南京大学, 中国)

摘要 中国喀斯特面积广大、类型多样, 世界上任何国家无法与此相比。建国以来, 中国地理、地质学家对喀斯特进行了大量研究, 在经济建设服务中取得非常有益的经验。但是, 欧美地区的地貌学家对中国喀斯特研究工作至今仍然不够了解, 缺乏应有的认识。为此, 本文对中国喀斯特的形成因素、主要地貌类型(峰林、峰丛、石林等)、沉积地貌(生物钙华、边石池、建设性瀑布), 以及开发利用问题进行了扼要的论述, 并与世界上一些著名的喀斯特地区进行了比较, 表明中国喀斯特研究已取得非常显著的成就, 为促进世界喀斯特科学的发展作出了重要贡献。

一、引言

中国境内碳酸盐类岩层深厚遍布, 喀斯特发育强烈、类型多样, 对自然环境和经济建设颇有影响。世界上, 除南斯拉夫以外, 苏联、巴西、美国、加拿大、澳大利亚等国都没有像中国那样, 喀斯特问题在地理学、地质学研究中居有特别重要的地位。

尽管中国古代地理学家徐霞客早在380年前对中国南方的喀斯特地貌已有详细记述, 现代地理、地质学家在中国喀斯特研究方面作出了重要贡献, 但长期以来西方地貌学家对中国喀斯特研究情况很少了解, 以致在1972年出版的《喀斯特, 北半球重要的喀斯特地区》专著中未曾列出中国喀斯特一章, 甚至未提及其有关内容^[1]。

国外, 首先阐述中国南部峰林地貌的欧洲人是植物学家亨第尔-马瑞蒂(Handel-Mazetti, 1925年)^[2]。法国地质学家德日进(T. de Chardin)对北京人洞穴住址及中国古生代灰岩地层作了大量研究, 其研究成果于30年代刊载于中国地质学会会志^[3]; 此时, 德国地貌学家费思孟(Von Wissmann)曾在中国和东南亚一带热带喀斯特地区进行了旅行考察。有关中国热带峰林地貌的记述及照片, 虽然在30年代开始出现于欧洲著作中, 例如法国著名的《地理世界》(Geographie Universelle)。但主要还是在中华人民共和国成立后, 特别是1976年以来中国喀斯特研究者与国外地貌学家进行友好的国际合作考察调查之后。

中国无论是在华南湿热地区、华北半干旱地区和东北温带地区, 还是新疆和青海干旱地区、西藏冰缘地区, 都发育有喀斯特现象, 且略有差别, 各具特色。

中国地貌学家在研究喀斯特原理与概念方面与欧美国家有许多不同之处。中国对于地貌组合形态的研究比个体形态更为注意, 如峰林是指孤立的塔状或锥状灰岩残体, 及其所在冲积平原或其他作用夷平的地面, 共同组成的景观; 峰丛是指兀立在同一基地上的一簇灰岩峰林, 这不仅是簇状石峰, 也包括峰林间的溶蚀洼地; 峰丛峡谷是指簇状峰林及其间深切峡谷构成的整体景观。另外, 中国喀斯特研究的重点对象是山丘, 即正地形, 而欧洲的注意力集中于负地形, 因为欧洲学者认为河谷是塑造地貌的基本单元, 喀斯特地貌的形成是河流水网演替的产物。

二、中国喀斯特的形成因素

(一)地质、构造运动与地形因素

世界上许多喀斯特地区的石灰岩形成较晚, 例如加勒比海地区属于第三纪。中国喀斯特的灰岩多数是古生代的, 虽受多次地壳运动影响但紧实坚硬、孔隙少, 不易渗透, 从而构成比较崎岖陡峻的地形。

牙买加考克比特地区(Cockpit Country)的锥状峰林由中新世灰岩组成, 坡度平均为 30° , 而贵州省水城喀斯特地区的峰林是坚硬的晚古生代灰岩组成, 坡度达 $46^{\circ} \sim 48^{\circ}$ *。广西桂林地区, 上泥盆统融县组亮晶灰岩构成陡峻的峰林, 与爪哇、波多黎各第三纪灰岩组成的喀斯特地貌可以媲美^[4]。佛罗里达和尤卡坦地区的新第三纪和第四纪灰岩, 力学强度不大, 多孔隙, 形成非常平缓的地形^[5]。南斯拉夫和法国南部虽然主要是侏罗、白垩纪微晶灰岩, 但受中新世地壳运动强烈影响, 喀斯特地貌具有比较和缓的形态^[6]。

中国的灰岩一般较厚, 且通常与砂岩、页岩等相间成层, 这些碎屑岩层对喀斯特的分布和形态影响很大。桂林地区泥盆系砂岩控制了喀斯特发育, 特别是对峰林盆地(波立谷)和许多早期的河谷更明显。南斯拉夫也有类似的情况, 灰岩层往往被粘土和粉砂层组成的浊积岩层(Flysch)所隔, 控制了波立谷的形成。同样, 白云岩对喀斯特地貌和水文的影响也相当重要, 中国南方白云岩层往往形成平缓山坡, 并具有特殊的喀斯特水文系统。

与世界上其他地区相比, 中国喀斯特更清楚地表明构造运动对喀斯特形成的重要性。例如华北山西, 奥陶系灰岩分布在华北地台上, 在其缓慢的沉陷过程中经受断块分割, 并被更新世黄土覆盖, 从而使山西高原上先前发育的狭长洞穴通道被掩埋, 地表喀斯特特征主要是干谷和大型泉流景观。同时, 由于奥陶系灰岩在黄土覆盖前有足够的时间形成一个发育良好的地下水文网, 而成为目前大型泉流的补给来源。因此, 山西高原地区大型泉流的地下流域范围很广, 面积通常在 1000km^2 以上, 如娘子关泉群达 4667km^2 , 是中国最大的地下集水盆。这种大规模地下集水面积的形成可能与地台性质有关, 即构造运动比较稳定、地质构造较简单, 灰岩

* 熊康宁, 贵州西部水城地区峰林地貌形态分析及其发育规律, 贵州师范大学地理系硕士论文, 1985

岩性的区域变化不大^[5]。

中国南部构造运动对喀斯特发育的影响与区域剥蚀速度有关。在区域抬升速度与喀斯特剥蚀速度差别不大的地区,先前的喀斯特地貌未受显著的改变,水文网发育也比较缓慢,这种情况发生在广西盆地东部桂林一带;在抬升速度超过喀斯特剥蚀速度的地区,水文网遭受破坏,新的侵蚀基准面建立,地貌发育开始进入新的阶段,这在贵州、云南新构造运动强烈抬升地区颇为典型,其面积估计在 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上。西藏高原从晚第三纪开始抬升,第四纪时期上升加剧,地壳经受断裂和掀升作用,形成非常年轻的喀斯特地貌。新几内亚地面抬升与地貌形成的关系与西藏高原极相类似。南斯拉夫处于阿尔卑斯山及地中海东部地壳运动地区附近,由于其地壳运动主要发生在中、晚第三纪,即比中国稍早一些,从而地形的剥蚀作用及形成的夷平面比贵州地区更为清楚,地下水网发育也比较完善,喀斯特地貌更为发育。

新构造运动的影响在中国大河水系上的反应也是很明显的,特别是长江、珠江及其支流,以巨大的水量进入喀斯特地区切割成深邃的峡谷,如著名的长江三峡;贵州、云南和桂西一带,近代地面抬升促使三叉河、乌江、红水河等河流切入喀斯特高原,峡谷深达1000m以上。由于河流的深切,喀斯特高原被分割,地貌发育产生回春作用,地下水文网和地表的地貌形成过程重新进行调整,从而在峡谷地区自河谷地带向上至分水岭地区形成喀斯特地貌分层性,即在分水岭地区是较老的地貌,在峡谷附近是回春作用形成的年轻地貌。尽管这种现象在法国南部也能见到,但其规模不大,因为中国西南部地表抬升幅度大,河流的切割作用更为活跃,特别是大量的季风型降水对于大型峡谷的形成起着极为重用的作用。

总之,中国南部喀斯特最显著的特征是流水侵蚀和喀斯特剥蚀作用共同控制着地貌发育过程,特别是在贵州省龙宫地区更为典型,那里地表受抬升而强烈切割,几乎所有的喀斯特现象都与河流或沟谷的侵蚀密切相关。也许由于欧洲喀斯特地区缺少大河的作用,致使西维奇克及其追随者信仰“全喀斯特(Holokarst)概念”。这一概念认为全喀斯特是一种没有流水作用,或者流水作用影响已达最小限度的喀斯特,如果流水作用对地貌形成仍有影响,那么这个地区并不是“真正的喀斯特”。这种思想对欧洲有很大的影响,在一定程度上是有害的,因为这种思想把喀斯特原理与地貌学的基本原理分隔开来,至今南斯拉夫仍有一些学者持有这种观点^[6]。毫无疑问,所有的喀斯特应该是流水作用和喀斯特作用的产物。

(二)气候因素

中国的气候类型复杂多样,降水的区域变化极为明显。雨量和降水强度直接影响喀斯特地区地表径流量和流速。产生大量快速径流的暴雨强度是中国南部热带、亚热带地区灰岩地形陡峭的主要形成因素之一。

在南斯拉夫南部Montenegro和Biokovo地区,灰岩厚达2000m以上,正处在欧洲最湿润的地方,年平均降水量超过2000mm,降水主要发生在冬季,属于地中海气候类型。虽然Montenegro地区的降水强度比欧洲西部要大,但远不及热带季风地区,即使地面坡度较陡也没有大量的地表径流。且由于岩性较软,其溶蚀洼地之间的锥形灰岩残丘比较低矮。

中国北部的降水量较少,降水强度也不及南部地区那样大,由于岩石的裂隙能够吸收较多的降水,地表径流明显减少。这里缺少快速径流形成的陡峻灰岩沟谷,主要是小型溶斗和溶蚀洼地,具有温带喀斯特特点。例如山东和辽宁地区的喀斯特地貌,与中欧、西欧一带颇为类似,

其溶蚀洼地的规模往往决定于地表径流与灰岩吸水量之间的平衡关系。

中国西部拥有大面积的干旱喀斯特,其特征与美国西部得克萨斯州和新墨西哥州地区相类似,灰岩表面分布着溶蚀沟纹和雨痕等小型溶蚀现象^[9]。在干旱的昆仑山地区,褶皱灰岩喀斯特往往与冰川及冰融水产生的侵蚀作用相关联。

气候对喀斯特地貌的影响在高海拔地区,尤以青藏高原北部最为明显。在干寒的高原气候环境下,霜冻和重力作用是现代地形形成过程中最重要的营力,冰融水和雪可使灰岩溶蚀,但对地貌形成所起的作用极为微弱,地表散布着针状灰岩残体,其周围往往被冰缘霜冻作用产生的扇形块石碎屑流所覆盖,形成特殊的西藏型喀斯特。

(三)第四纪时期对中国喀斯特的影响

尽管在喜马拉雅山、青藏高原内部及其边缘山地存在着现代冰川,但这些地区第四纪冰川规模并不很大。第四纪冰期时,中亚的气候非常干旱,中国北部和东北部也是比较干旱,从而中国很少有冰川作用的喀斯特类型,也缺乏类似于英国西部、爱尔兰、北美和安大略湖区大范围的低地冰川作用喀斯特。

巨厚的黄土堆积更是反映华北地区第四纪干旱环境的重要证据。黄土堆积使华北地台上由奥陶纪灰岩组成的地面发生了巨大改变,溶蚀洼地和许多溶洞被埋藏堵塞,干谷和大型泉流成为主要的喀斯特现象,地表显得更为干燥。这种在厚层灰岩上覆盖着巨厚黄土的情况在世界上比较少见,美国威斯康辛州可见到类似的情况,其规模要小得多,且分布在非常低的海拔高度上,这主要是从加拿大冰川地区吹送出来的。华北地区第四纪沉积物在周口店北京猿人洞穴中保存较好,任美镔教授对此进行了详细研究^[10],其情况与欧洲、南非的第四纪洞穴堆积物相仿。

李四光教授坚信第四纪冰川扩展到华南,到达北纬24°的桂林以南,但多数人认为中国南部第四纪环境相当湿润。在广泛分布的第四纪河流阶地上有着宽厚的阶地沉积物,尤其是在桂林漓江的大圩与阳朔之间,存在的峡谷更表明第四纪时期内漓江必须有巨大的水量才有可能形成深切的喀斯特峰丛。但在湿润阶段中还有过干旱期,用铀系法测定桂林洞穴石笋年龄时,发现石笋碳酸钙沉积物有沉积间断,并在间断时产生一种反映趋于干燥环境的羟磷灰石(Hydroxyapatite)沉积物^[11]。关于第四纪时期喀斯特地貌发育研究,在中国南部,与越南、马来西亚及东南亚地区一样,是非常粗略的,尚待深入。

三、中国南部喀斯特地貌

(一)桂林塔状喀斯特

欧洲地理学家非常重视塔状喀斯特与锥状喀斯特之间差别的研究,通常以坡度为主要依据之一,即塔状喀斯特峰林边坡很陡,在70°以上,甚至近于垂直。而且,塔状喀斯特是由突立在平原上的残留孤峰组成的,这与岛山(Inselberg)不同,后者往往是一群锥形的残峰,而不是锥状喀斯特。

桂林喀斯特地貌发育较早,位于漓江东岸高出水面24m的穿山洞穴沉积物年龄有100×

10⁴年以上^[12],现洞穴本身及其所在的塔状喀斯特那就更老了。在桂林盆地内的塔状喀斯特中残存着大型的饱水带洞穴,表明曾经有过一个巨大的地下喀斯特水文系统。从桂林地区喀斯特地貌发育及其与覆盖的白垩纪红层之间关系来分析,这里不仅经受长期的侵蚀,而且整个第三纪和第四纪时期内保持着一种缓慢的地壳抬升过程^[13]。这种情况与越南、马来西亚、印度尼西亚等地区塔状喀斯特的形成有相同之处。

福特(D. Ford)认为,塔状喀斯特并不是热带气候所独有的,主要决定于灰岩的强度、垂直节理和较大的厚度,在各种气候条件下都可以形成塔状喀斯特^[14]。这种观点从理论上来说,有其正确的一面,但像桂林这样陡峻的塔状喀斯特,且有着大型的饱水带溶洞残体,似乎必须有大量地表水和地下水情况下才可能形成。虽然在融化迅速并持有大量冰融水的冰盖地区也具形成塔状喀斯特的环境,如加拿大西北部的Nahanni。但塔状喀斯特通常产生在降水量大、具有大型外源河流的热带地区。具有这样的环境,且在较长的地质历史时期里有稳定的构造运动,和有质地坚硬的裸露灰岩等条件,只有中国南部和东南亚地区最为完备。在中美、加勒比海地区也有塔状喀斯特分布,但其灰岩较年轻,形成于中新世。此外,巴西中部、波多黎各、古巴等地见有侏罗系灰岩构成的塔状喀斯特,其形成条件与中国南部相似,但显得非常低矮,规模亦小。

(二)贵州锥状喀斯特

贵州高原喀斯特相当雄伟壮观,嵌入高原的深谷和瀑布,以及反映构造回春作用的地貌分层现象使人留下非常深刻的印象,最使人感兴趣的是到处分布有峰丛式或峰林式锥形山丘,形成独特的自然景观。

凡是岩性均匀的岩石都可以形成锥形山丘,尤以灰岩和白云岩更为合适。灰岩易形成锥形山丘,不仅因岩性比较均一,而且与坡面上的溶蚀过程比较均匀有关。一般来说,锥状喀斯特往往形成于常有暴雨的地区,因为开始形成时需要快速的快速的地表径流,随着溶蚀过程占主导地位时,锥形山丘的坡地亦逐渐演变成成为溶蚀洼地的边坡。贵州高原锥形山丘的坡度主要由岩石强度与岩性决定的,薄层的灰岩和白云岩往往产生比较平缓的坡地,坡度10°~20°,坚硬的块状灰岩则形成很陡的边坡,可达60°。

在贵州高原上,除了在页岩等非喀斯特岩石地区有平地或波立谷以外,主要是大片成群的锥状灰岩低丘,其边坡坡度非常一致,差别一般不超过2°,形成相当对称的外形,这与世界上所见到的锥状喀斯特,例如菲律宾Visayar地区的巧克力丘陵地(Chocolate Hills),是非常相似的。尽管贵州地区锥状喀斯特的分布与构造线有关,但其边坡的对称性并不受地质构造控制,主要决定于发育时间^[4]。当地面抬升到一定程度时,锥状喀斯特与地下喀斯特演化过程分离,锥形山丘的相对高度逐渐增大并变得干旱,这时锥形山丘地貌处于稳定状态,其发育过程受控于坡面溶蚀过程。应该指出,假若锥形山丘坡麓地带堆积物能够保存的话,那么大多数溶蚀作用仅仅发生在坡面上方,因为带有CO₂的雨水降落在坡面上部时可以产生岩石表面的侵蚀作用,当这种水流沿坡面流下或流入灰岩裂隙中就会饱和,这就有利于锥形的形成。尽管有这样的认识,但是对锥状喀斯特坡面发育过程的了解还是很肤浅的,必须进一步深入研究。

在南斯拉夫南部、希腊、土耳其等中生代灰岩分布地区,也可见到坡度平缓(15°~20°)的锥状喀斯特,但不易使人注意,因为这些地区新构造运动比较活跃,地表主要为崎岖的山地景

观。这些地区的锥状喀斯特往往被认为是残留的热带或亚热带喀斯特,但也可能是现在形成的。至于南非Transvaal地区白质灰岩构成的锥状喀斯特可以认为是残存的亚热带喀斯特类型,目前这里的雨量有限,不足以锥状喀斯特发育^[15]。一般说来,锥状喀斯特峰顶非常尖锐,仅在薄层灰岩和白垩质灰岩地区是浑圆状的,例如爪哇的薄层灰岩、利比亚北部的白垩质灰岩地区。

(三)云南石林

矗立在云南准平原面上的路南石林,位于边坡平缓的盆地内,海拔约1830m。此处,二叠系茅口灰岩上覆盖着较薄的始新世红色湖相粘土层,由于新构造运动抬升使红色粘土不断被剥蚀掉,崎岖的灰岩溶蚀面暴露于地表,这表明粘土覆盖的地面以下存在着溶蚀作用,且往往形成比较光滑的溶蚀面。由于通过土壤层或碎屑覆盖层下渗的水流带有生物 CO_2 ,其溶蚀作用的反应与吸取大气中自由 CO_2 的水流所产生的溶蚀反应是不相同的,这种差异在石林地区表现得非常清楚。通常情况下,新出露的针状喀斯特都比较矮小,一般称为石芽,大多数存在着光滑的表面结构。而长时间暴露于大气中的针状喀斯特,外形显得非常高大,灰岩表面受大气降水溶蚀形成许多平行的垂直溶沟,一般有数米长,这是暴雨降水情况下溶蚀的产物。

坚硬而层厚的灰岩及其平缓的倾角,是形成高大壮观石林所必需的基本条件。路南地区的灰岩完全具备这些条件,形成的针状喀斯特高达30m。新西兰北岛Waitomo地区的灰岩,其上覆盖着疏松的火山灰堆积物,由于灰岩是薄层的,也没有茅口灰岩那样坚硬,因此尽管在火山灰下面也有溶蚀作用进行,但灰岩性状不利于针状喀斯特发育,下渗的水流转入灰岩裂隙中,从而形成多边形溶斗喀斯特。

覆盖层对下部灰岩所产生的层下风化作用(Subsident Weathering),在许多地方可以见到,彭克(W. Penck)早在1924年对这种类型的喀斯特已有论述,并称此为层下喀斯特(Unterirdische karst)^[16]。必须指出,确定覆盖层下灰岩经受溶蚀作用的时间是很困难的,也许在覆盖层形成后就产生层下溶蚀作用。路南石林在第三纪时期内就已经开始遭受溶蚀,但主要的溶蚀过程发生于第四纪内,近地面的溶蚀作用至今仍在进行。

在灰岩之上覆盖着坚硬的岩层时,也可以发生类似的层下喀斯特作用,往往形成很长的溶洞和地面崩塌下陷。这种情况,在华北奥陶系灰岩剥露地区可以见到,但以美国玛猛洞最为典型。在英国南威尔斯地区,石炭系灰岩之上覆盖着厚层砂岩,灰岩遭受层下溶蚀作用后形成较长的溶洞,并有许多崩塌现象,但这里的喀斯特没有暴露地表,给当地开发利用带来了困难。

四、中国喀斯特沉积地貌

溶蚀作用是喀斯特发育的本质,但从喀斯特水中析出的碳酸钙物质也可以产生非常重要并令人感到兴趣的地貌现象。大多数碳酸钙沉积是由于过饱和水逸出 CO_2 所产生的,然而在地表碳酸钙沉积地貌形成过程中,藻类及其它喜钙生物的生物淀积作用在碳酸钙沉积过程中的重要性亦不容忽视。

中国的夏季比较湿热,生物作用与物理作用共同形成了一些重要的沉积现象,即使在夏湿

较低的西藏高原上,温泉附近也分布着含有许多藻类的生物钙华沉积(Tufa deposit)。

生物钙华沉积在中国比较常见。华北地区的生物钙华往往与大型泉流有关,形成钙华岗丘和陡崖地貌。如中国北方最大的喀斯特泉——山西娘子关泉群分布着不同时期的生物钙华沉积,较新的沉积形成于冰后期的气候适宜时期,距今仅仅数百年;最老的沉积发生在第四纪湿热阶段,大约在6000年以前。目前,娘子关地区的生物钙华已停止发育,其原因不仅与当前气候条件有关,更主要的是过度抽取地下水使泉水断流*所致。

生物钙华沉积与大型瀑布也有关系。打邦河从贵州高原面上直落入溯源侵蚀的深谷中,形成举世闻名的黄果树大瀑布。大量的 CO_2 从瀑布水流中逸出,再加上生物作用,瀑布处沉积数十米厚的生物钙华。格列高里把这种具有生物钙华沉积的瀑布称为“建设性瀑布”^[17]。在南欧和北非,夏季的气温足以使大量的 CO_2 从水中散发出来,生物作用也非常活跃,因而在摩洛哥、南斯拉夫、希腊及土耳其等国家的河流阶地上都有生物钙华分布。南斯拉夫的克尔卡瀑布(Krke Falls)与黄果树大瀑布有着相似的喀斯特景观。摩洛哥的生物钙华沉积主要形成于第四纪湿热时期;法国南部Cirque du Navacelles的生物钙华形成时期以第四纪为主。在欧洲西北部温凉气候地区,生物钙华沉积规模很小,大部分形成于冰后期气候适宜时期(距今5000年),部分是第四纪间冰期的温暖阶段。在热带地区,一些流动于灰岩地区、没有外源水流入的小河河段上,通常有生物钙华堆积形成的瀑布,例如印度尼西亚的Bantimurung瀑布,牙买加的Dunn's River瀑布。干旱喀斯特地区也能发现生物钙华沉积,通常用来作为先前湿润气候时期的标志,它们经常在干谷中形成阶梯状生物钙华坝,例如美国新墨西哥州Carlsbad地区、澳大利亚西北部金伯莱地区的Fitzroy灰岩山地^[18]。

高山地区的河流迅速流入较温暖的河谷时,也可以发生碳酸钙沉积,因为溶解于冷水中的 CaCO_3 量比暖水中来得多。尽管高海拔地区生物 CO_2 含量很低,但灰岩溶蚀仍然显著,西藏南部海拔5000m处喀斯特水的 CaCO_3 含量为50~100mg/l,表明寒冷的山地水流仍有能力溶解灰岩。当这种水流注入下游河谷时,迅速增温使水中大量 CO_2 逸出,致使碳酸钙发生沉积。四川省岷山山地的九寨沟和黄龙寺风景区是这种碳酸沉积地貌的典型。这里的河流,从海拔4000~5000m以上的积雪和冰川处注入海拔2000~3000m的河谷中,生物淀积作用都非常活跃,形成的沉积地貌形态各有特色。

在九寨沟地区,沿著植物和树干周围沉积的生物钙华较为松软,在河段上形成规模不一的钙华坝,致使河流分割成许多湖泊,湖水呈现鲜艳的蓝绿色彩。尽管这种生物灰华多数是非结晶的,但在湖泊之间能够建造起相当规模的堤坝,其高度可达50m以上,形成瀑布,如诺日朗瀑布。在生物钙华比较坚硬及已有结晶的河段上,则形成横贯河谷的一片浅滩,如珍珠滩。南斯拉夫中部普里特维采国家公园的喀斯特景观与九寨沟地区颇为类似,那里的生物钙华坝和喀斯特湖连绵长达7~8km,湖水也是蓝绿色彩,含有大量的藻类和苔藓,生物钙华仍在形成,但其沉积时期主要发生在全新世早期^[19],应该指出,普里特维采国家公园所处的海拔较低,大约400m,流入这里的河流并不像九寨沟那样来自很高的山地,罗力克(J. Roglic)认为白云岩的存在对于藻类和苔藓的发育极为重要,但九寨沟地区并没有发现白云岩,因此形成这种大型的

* 周游游,山西娘子关的灰华及其古环境意义的研究,南京大学地理系硕士论文,1988

生物钙华的原因有待探讨。

黄龙寺沟位于岷山雪宝顶山麓,海拔3200m以上,主要是二叠系茅口群上部灰岩。黄龙寺沟周围的山地与意大利北部非常相似,大量的倒石锥、霜冻刻蚀的尖峰,偶有小的溶洞,具有白云岩地区的地貌特征。黄龙寺沟河谷来自雪宝顶冰盖,长约7km的河段上分布着成层的生物钙华和结晶灰华(Travertine),以片状形式分布在河床上,或者成为大型边石池的堤岸,高2~3m,堤内的池塘面积有数平方米,水深达10m以上,含藻类和其他植物。这种边石池是沉淀与溶蚀作用周期性交替进行的产物。这里碳酸钙沉淀速度非常迅速,平均每年达6mm。

在气候温暖或夏季较暖地区的溶洞中,边石池比较常见。尽管南斯拉夫与澳洲塔斯摩尼亚岛相隔遥远,溶洞中均有边石池,法国Causses地区也有许多著名的边石池。当冷水流从洞壁溢入温暖的溶洞空间时,必然产生沉淀作用,但溶洞中的生物作用并不重要,因为藻类无法在黑暗的洞穴中生存。在地表,边石池的形成也仅限于局部地区,即必须具备像黄龙寺沟那样水流从钙质岩层组成的高山迅速向下注入温暖河谷的条件。在世界上,相当于黄龙寺沟那样大规模的边石池是罕见的,仅见于土耳其和摩洛哥,那里的河流是从高耸的灰岩山地急速注入温暖的地中海谷地,从而形成较大规模的边石池。

溶洞中的化学沉淀物一般规模并不大,但也很重要。中国许多地方的溶洞均有石笋、石钟乳等形成的沉积现象,以其不同的性状反映着沉积类型的差别,这与气候条件及对洞穴沉积发生影响的环境有关,如桂林地区兴坪附近溶洞中的“莲花盆”是一种独特的古老地下湖沉积^[20]。

五、中国喀斯特地区资源利用

喀斯特地区蕴藏着各种矿产资源,中国有湿热时期形成的铝土矿,这与匈牙利、意大利和法国南部石灰岩地区的情况相似。在喀斯特溶斗的溶洞中,往往沉积着各种砂矿,例如广西的锡矿,爱尔兰南部的锌、铜矿石。中国还有许多较老的石灰岩地层埋藏在新地层之下,形成深部喀斯特。例如,四川盆地内灰岩埋藏在侏罗系红色砂岩下面;渤海湾地区灰岩断块下陷为第三纪地层覆盖,地下数百米深处的喀斯特灰岩成为良好的储油场所。可见,喀斯特具有重要的经济意义。

在农业生产方面,中国以种植水稻为主,特别是南部地区的溶蚀洼地内,尽可能地把每块土地种植水稻,设法灌溉来保持水面;洼地之间的丘陵山地尚未利用,山坡上的树木已经砍光,很少利用放牧。这种景象与中东、欧洲地中海喀斯特地区迥然不同,那里以种植小麦为主,无需平整土地。小麦不仅种植在溶蚀洼地内,而且还种植在山坡上,并还利用山坡放养绵羊和其他动物,还尽力植树防止水土流失。另外,欧洲的南斯拉夫、瑞士和法国很早就重视灰岩山地的综合利用,在18世纪以前,南斯拉夫灰岩山坡一直是荒地,由于溶蚀洼地内经常遭受洪水威胁,才认识到山坡地比溶蚀洼地的利用价值更大,从而非常重视山坡地的利用。

中国对喀斯特研究的最大贡献是喀斯特水文和水文地质,以及喀斯特水的开发利用。对于中国北部大型泉水流量变化的观察已经有2000多年的历史记录。中国的地下水资源约有

1:4来自喀斯特地区, 建国以来对于喀斯特地下水的流量变化与化学特征已经进行了大量研究, 桂林等地已建立了喀斯特水文地质实验站, 提供了很有价值的喀斯特水文地质资料*。

中国北方奥陶系灰岩组成的地台地区, 其地下水系统与中国南方地质构造极为复杂的山区相比差别很大。在北方, 主要是裂隙水含水层, 很少有管道流和地下河道; 尽管气候比较干旱, 年内地下水流量变化不大, 一般不超过两倍, 但地下集水面积非常广大, 往往在1000km²以上。而南方的地下水主要是管道流, 并有许多地下河和溶洞水; 由于受复杂的构造运动影响, 泉水的地下集水面积都比较小, 一般只有数十平方公里, 泉水流量变化极为明显, 最小与最大流量相差达1000倍以上, 而且变速也相当快, 因此中国南方的喀斯特水只能在局部地区进行小规模的开发利用^[21]。

中国南方的喀斯特水文与喀斯特地貌类型的关系非常密切。例如位于广西盆地西侧的独山地区, 地貌现象呈现明显的分层性^[22], 每一层地貌都有其独特的水文地质、地下水系和地下水化学特性^[23]。为了摸清喀斯特水文地质情况, 必须对整个喀斯特系统有所了解。因此中国水文地质学家所掌握的喀斯特知识远比西方水文地质学家要多。

中国水文地质学家和水利工程技术专家在喀斯特地区筑坝和建造水库都有很好的经验, 在贵州猫跳河灰岩峡谷中建坝时应用喀斯特理论成功地防止渗漏和崩塌发生^[24]。同时, 在开发利用溶洞水方面, 创造了堵、引、提一整套经验, 并修建地下水库, 保证了农田灌溉和城市工业、居民用水。而且, 利用较大落差和较大流量的洞穴水修筑地下电站, 对缓解能源问题发挥了作用。

中国已有大量的溶洞开发利用为旅游事业服务, 几乎到处都有游览溶洞的旅游项目。由于大量的旅游者拥入洞内, 洞穴空气中CO₂含量明显增多, 洞壁凝结水增加, 使洞内景观发生再溶蚀而受损坏, 这种情况在江苏宜兴善卷洞等已有发生, 类似的情况在法国和新西兰的旅游溶洞中亦有所见。此外, 在喀斯特地区过度汲取地下水导致泉水干涸、地面塌陷、地下水污染, 以及在修建铁路、桥梁及开挖隧道和采矿掘进时大量地下水的突出等灾害问题, 在国内外均有发生, 这有待今后加强国际科学技术交流和合作研究。总之, 中国地理、地质学家在喀斯特研究方面已经进行了大量的工作, 有着非常有益的宝贵经验, 在改革开放政策的鼓励和推动下, 中国喀斯特研究必将作出更大的贡献, 在促进喀斯特科学发展中占有重要的国际地位。

参 考 文 献

- [1] Herak, M. and Stringfield, V.T., Karst: Important Karst regions of the Northern Hemisphere, Elsevier, Amsterdam, 1972
- [2] Lehmann, O., Die Geographischen Ergebnisse der Reisedurch Guidschon Expedition Dr. Handel-Mazetti 1914-1918 Denkschr, Akad. Mass. Wien, Math-na tkl, 100, 1925
- [3] Teilhard de Chardin et al., On the Cenozoic Formations of Gwangsi and

* 蒋忠诚, 桂林东郊峰林喀斯特地貌形成演化的研究, 南京大学地理系硕士论文, 1988

- Kwangtung. Bull. Geol. Soc. China, 14, 179-210, 1935
- [4]翁金桃 《桂林岩溶与碳酸盐岩》,重庆出版社, 1987
- [5]Monroe, W.H., Lithological Control in the Development of A Tropical Karst Topograph. U.S. Geological Survey, 1964
- [6]同[1]
- [7]Zhang Zhiguo, Karst Types in China, Geojournal, 4(1), 543-570, 1980
- [8]Rogli, J., Karst Valleys in the Dinaric Karst, Erdkunde, 18(2), 113-116, 1964
- [9]Smith, J.F. and Albritton, C., Solution Effects as a Function of Slope, Bull. Geol. Soc. Amer. 52, 61-78, 1941
- [10]任大钢等 《北京周口店洞穴演化与古人类生活的关系》,《中国科学》, 24(6), 843-850, 1981
- [11]Wang Yunyi, U-Dating and $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Features of Speleothems in Mao Mao Tuo(Big Cave), Guilin, Kexue Tongbao, 33(12), 835-838, 1986
- [12]P.W. 威雅姆斯等 《桂林穿山洞穴沉积物的古地磁解释》,《中国岩溶》, 5(2), 113-126, 1986
- [13]Yuan Daoxian, New Observations on Tower Karst, First International Congress on Geomorphology, Manchester, 1985
- [14]Brook, G.A. and Ford, D.C., The Nature of Labyrinthine Karst and Its Implications for the Models of Tower Karst, Nature, 280, 333-335, 1978
- [15]Marker, M.E., The Geomorphology of Southern Africa, Southern Book Publishers, 1988
- [16]Penck, A., Das Unterirdische Karst, Recueil de Travaux offert a J.Cvijic (Belgrade), 1924
- [17]Gregory, J.W., Constructive Waterfalls, Scot. Geog. Mag. 27, 537-546, 1911
- [18]Jennings, J.N., and Sweeting, M.M., The Limestone Ranges of the Fitzroy Basin, Western Australia, Bonn. Geogr. Abh.32, 1-60, 1963
- [19]张捷 《九寨沟湖水色彩成因的初步研究》,《地理》, 2(3), 55-61, 1989
- [20]朱学稳 《桂林岩溶》,上海科技出版社, 1988
- [21]蔡桂鸿 《南方岩溶石山区农业生态环境初步探讨》,《中国岩溶》, 7(1), 1-8, 1987
- [22]Song Lanhua, The Geomorphology of Dushan, Cave Science, British Cave Research Association, 1984
- [23]李景阳等 《贵州省独山南部地区岩溶地下水的区域分布和开发治理》,《中国岩溶》, 7(4), 279-285, 1988
- [24]邹成杰 《猫跳河四级水电站水库、坝址岩溶渗漏及防渗处理研究》,《中国岩溶》, 5(1), 1-14, 1986

STUDY ON KARST IN CHINA FROM A WORLD PERSPECTIVE

M M Sweeting

(University of Oxford, England)

Bao Haosheng

(Nanjing University, China)

Abstract

Limestone and karst in China permeate almost every aspect of its physical geography. Apart from its extent, the great variety of karst in China is perhaps the most striking feature to anyone from outside the country. Since the founding of the People's Republic of China, a considerable work on the scientific study of karst in China has been developed by Chinese geographers and geologists, but geomorphologists in the west were largely unaware of Chinese ideas of karst. However, it has been said that "Chinese geomorphology is very Chinese" (Stoddart, D.R., 1987) and the concepts and ideas of karst in China are in many ways different from those in Europe and America. It is the fact that Chinese geographers are more concerned with groupings of landforms than with individual ones and emphasis in China has also been on the hills, or positive landforms, whereas in Europe much more attention is given to negative, closed depression, forms.

By comparison with karst terranes in the world, however, the controls on the karst, some types of karst landform mainly including Guilin tower karst, Guizhou cone karst and Yunnan stone forests, the depositional landforms in the karst (tufa, limestone pool and constructive waterfalls) and the exploitation of the karst in China have briefly been described and discussed. It could be seen that the contribution of China to world karst studies has been both varied and distinctive. The teams of engineers, geographers and geologists have made many original advances in solving its problems. The opening up of the Chinese karst areas to the rest of the world has enabled foreign scientists to learn from the Chinese experiences and to see the beautiful and spectacular landforms in the karst. We can therefore look forward to much international discussion on the origin of the landforms and their underground hydrology and the difficulties of their exploitation.